

Hubungan Mikroplastik dan Kualiti Air di Sungai Melaka, Melaka, Malaysia (Relationship between Microplastics and Water Quality in Sungai Melaka, Melaka, Malaysia)

MOHAMAD HAFIZ ABDUL HALIM¹, HARITH ABDUL ADZIM ISMAIL¹, LAILA ZULAIFAH ZULKIPLI¹, SHAMSURI ABDUL MANAN³, MASNI MOHD ALI¹ & KHAIRIATUL MARDIANA JANSAR^{1,2,*}

¹Jabatan Sains Bumi dan Alam Sekitar, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia

²Pusat Penyelidikan dan Analisis Air, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia

³Jabatan Alam Sekitar, Tingkat 12-14, Wisma Sunwaymas, Jalan Tengku Ampuan Zabedah C9/C, Seksyen 9, 40100 Shah Alam, Selangor, Malaysia

Diserahkan: 2 Mei 2024/Diterima: 5 Julai 2024

ABSTRAK

Sungai Melaka adalah sumber pendapatan utama bagi masyarakat di negeri Melaka telah tercemar oleh mikroplastik. Penyelidikan ini bertujuan untuk mengkaji kelimpahan dan ciri mikroplastik yang dijumpai di dalam sampel air daripada 9 stesen pensampelan di sepanjang Sungai Melaka. Kualiti air dan perhubungan antara mikroplastik dengan sifat fizikokimia kualiti air juga dianalisis dalam kajian ini. Purata kelimpahan mikroplastik di Sungai Melaka adalah 569 zarah L⁻¹. Mikroplastik warna hitam dan bentuk serpihan merupakan ciri-ciri mikroplastik yang dominan. Poliamida (PA) dan polietilena tereftalat (PET) adalah jenis polimer yang banyak dijumpai di dalam semua sampel air. Jumlah pepejal terampai (TSS) ditemui sebagai parameter yang mempunyai pengaruh terhadap mikroplastik gentian di Sungai Melaka. Secara keseluruhan, keputusan ini memberi maklumat terkini mengenai pencemaran mikroplastik di Sungai Melaka dan menyediakan data penting untuk penyelidikan lanjut mengenai mikroplastik dalam ekosistem air tawar.

Kata kunci: Air sungai; Analisis Komponen Utama; ciri fizikokimia; mikroplastik

ABSTRACT

Sungai Melaka, which serves as a primary source of income for communities in the state of Melaka, has been contaminated by microplastics. This study investigated the abundance and characteristics of microplastics found in water samples from 9 sampling stations along Sungai Melaka. Water quality and the relationship between microplastics and the physicochemical properties of water quality were also analysed in this study. The average abundance of microplastics in Sungai Melaka is 569 particles L⁻¹. Black-coloured microplastics and fragment shapes are the dominant characteristics of microplastics. Polyamide (PA) and polyethylene terephthalate (PET) are the most common polymer types found in all water samples. Total suspended solids (TSS) were identified as a parameter that influences microplastic fibres in Sungai Melaka. Overall, these results provide current information on microplastic pollution in Sungai Melaka and offer important data for further research on microplastics in freshwater ecosystems.

Keywords: Microplastics; physicochemical properties; Principal Component Analysis; river water

PENDAHULUAN

Kemajuan urbanisasi dan perindustrian menyebabkan peningkatan yang ketara dalam penghasilan sisa plastik secara global (Kumar et al. 2021). Plastik yang terdiri daripada polimer organik sintetik, dikenali dengan sifat ketahanannya, ringan dan kecekapan kos dalam proses pengeluaran, menjadikannya salah satu bahan yang paling meluas digunakan dalam pelbagai sektor (Ivleva, Wiesheu & Niessner 2017; Li, Liu & Paul Chen 2018). Malaysia juga tidak terlepas dari antara negara yang menjana sisa plastik. Meijer et al. (2021) melaporkan Malaysia

merupakan antara negara utama dalam melepaskan sisa plastik yang tidak diurus dengan baik ke dalam lautan dengan kuantiti tahunan sebanyak 73,098 juta tan metrik. Namun begitu, pengeluaran dan penggunaan plastik secara berterusan telah menimbulkan masalah dalam pengurusan sisa plastik secara langsung dan tidak langsung (Pan et al. 2020). Pembuangan sisa plastik ke dalam jasad akuatik, terutamanya sungai, dianggap sebagai salah satu cara yang cekap untuk mengatasi pengumpulan sisa plastik di kawasan daratan. Sisa plastik juga memasuki ekosistem sungai secara tidak langsung melalui aliran air kumbahan

domestik dan air larian permukaan. Sisa tersebut mampu kekal di dalam sungai untuk tempoh masa yang lama sehingga menimbulkan pencemaran mikroplastik (Schwarz et al. 2019).

Penghasilan mikroplastik (saiz < 5 mm) berasal daripada pelbagai punca seperti peralatan peribadi, bungkusan makanan, perabot, peralatan rumah dan pakaian (Rahim et al. 2022; Sharma et al. 2021). Berdasarkan beberapa kajian terdahulu, mikroplastik dikesan pada saluran pengaliran seperti sungai sekali gus akan membawanya ke laut. Kemasukan mikroplastik ke dalam sungai daripada pelbagai sumber hasil daripada kegiatan pertanian, aktiviti dalam sektor pelancongan, perikanan dan kawasan perumahan menyebabkan penyusutan kualiti air dan status sungai sebagai pembekal perkhidmatan ekosistem kepada manusia, haiwan daratan dan akuatik serta tumbuh-tumbuhan yang hidup di sekitarnya (Duis & Coors 2016). Pencemaran mikroplastik juga menjejaskan ekosistem sungai. Potensi bioakumulasi dan pemindahan mikroplastik dalam paras trofik rantai makanan dan siratan makanan akan memudaratkan semua spesies termasuk manusia (Van Raamsdonk et al. 2020). Terdapat laporan bahawa mikroplastik dijumpai di dalam saluran gastrousus dan tisu ikan (Chantima et al. 2023; Zeytin et al. 2020).

Melaka kaya dengan peristiwa bersejarah yang menjadi tunjang pembentukan negara Malaysia. Sungai ini terletak di negeri Melaka dan merupakan salah satu sumber pendapatan utama untuk masyarakat yang menetap di sekelilingnya. Namun, Sungai Melaka mengalami pencemaran akibat daripada aktiviti manusia yang meningkat. Menguruskan pencemaran mikroplastik di sungai ini mencabar disebabkan oleh kekurangan data primer dan sekunder mengenai pencemaran mikroplastik dalam air sungai di Malaysia. Kajian sedia ada tentang mikroplastik cenderung memberi tumpuan terhadap persekitaran marin, meninggalkan persoalan dalam memahami kejadian dan kesan mikroplastik dalam air sungai. Pencemaran yang berterusan akan mengganggu kesihatan alam sekitar Sungai Melaka. Maka, penyelidikan ini bertujuan untuk mengkaji kelimpahan, ciri dan komposisi polimer mikroplastik dalam air Sungai Melaka. Selain itu, untuk menentukan juga perhubungan antara kelimpahan mikroplastik dengan parameter kualiti air Sungai Melaka.

BAHAN DAN KAEDAH

KAWASAN KAJIAN DAN PENGUMPULAN SAMPEL

Sungai Melaka (Rajah 1) merupakan sebuah laluan air sepanjang 39 km dengan kawasan tadahan seluas 608 km², merupakan tumpuan utama kajian ini. Sungai ini merupakan salah satu destinasi pelancongan utama di Malaysia dan merupakan unsur yang penting dalam status

Bandaraya Melaka sebagai Tapak Warisan Dunia UNESCO (Omar & Mat Radzuan 2021). Bermula di pertemuan Sungai Tampin dan Sungai Batang Melaka di Gadek, daerah Alor Gajah, sungai ini mengalir ke hilir di Bandar Hilir, Melaka dan menyusur ke Selat Melaka (Ang & Mohd Kusin 2015; Emmel & Curray 1982; Hua 2019; Mustafar et al. 2020). Sembilan stesen pensampelan yang dipilih secara strategik telah ditetapkan di sepanjang Sungai Melaka dengan mempertimbangkan pelbagai kegunaan tanah di sekitarnya, termasuk kawasan pelancongan, perindustrian, perdagangan dan kawasan kediaman (Jadual 1). Kawasan ini berpotensi menghasilkan sisa antropogen termasuk mikroplastik.

PARAMETER KUALITI AIR

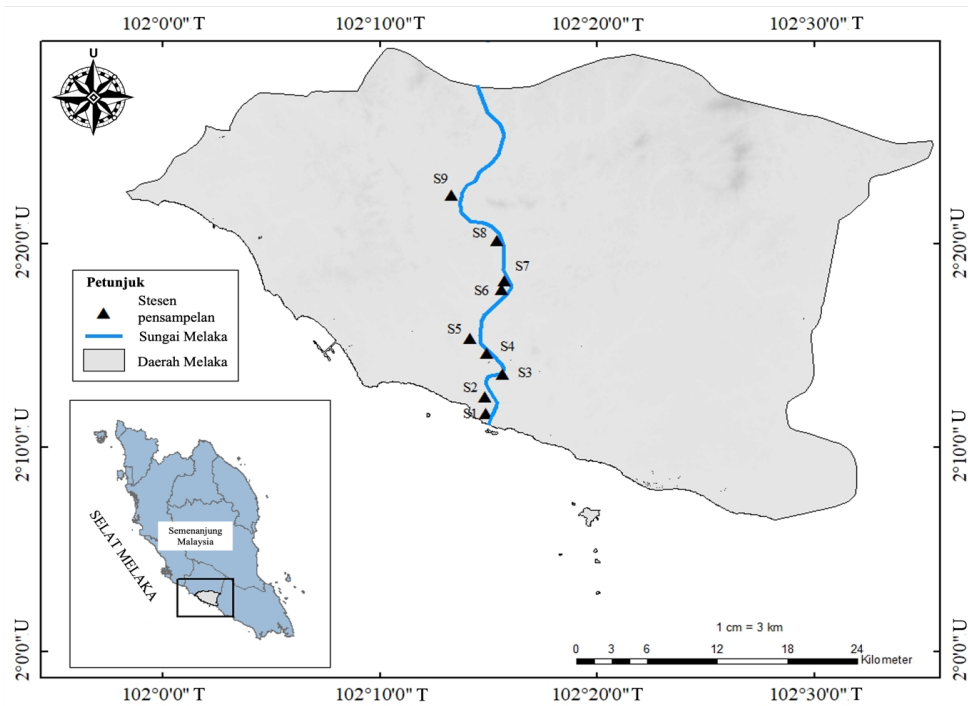
Parameter fizikokimia yang diukur dalam air sungai termasuk pH, kekeruhan, suhu, halaju aliran air, oksigen terlarut (DO), jumlah pepejal (TS), jumlah pepejal terlarut (TDS), jumlah pepejal terampai (TSS), permintaan oksigen biokimia (BOD), ammonia-nitrogen (NH₄-N), nitrat (NO₃-) dan fosfat (PO₄³⁻). Indeks kualiti air (IKA) telah dinilai dan dibandingkan dengan Piawaian Kualiti Air Kebangsaan untuk Malaysia (NWQS) (Jabatan Alam Sekitar 2021). Data parameter kualiti air dibekalkan oleh Jabatan Alam Sekitar (JAS) Negeri Melaka pada bulan Jun 2022. Setiap stesen pensampelan bagi IKA adalah sama dengan stesen pensampelan mikroplastik dalam kajian ini.

PENSAMPELAN

Aktiviti pengambilan sampel telah dijalankan pada Jun 2022 di sembilan lokasi terpilih di sepanjang Sungai Melaka. Sebelum pengambilan sampel, semua peralatan dan bekas kaca telah dibersihkan menggunakan air suling yang ditapis. Sepanjang proses pengambilan sampel, pakaian diperbuat daripada kapas dan sarung tangan nitril sentiasa dipakai. Dengan menggunakan alat pensampelan air, air sungai dikumpulkan pada kedalaman 30 cm daripada permukaan air. Kemudian sampel akan dimasukkan ke dalam botol kaca 1 L. Tiga sampel replikat diperoleh dari keratan rentas yang sama dari sungai, merangkumi bahagian tengah, kiri dan kanan sungai. Bagi mengelakkan pencemaran dari sumber luar, sampel diletakkan dalam bekas kaca dan ditutup dengan kerajang timah.

PEMROSESAN SAMPEL

Pengekstrakan mikroplastik daripada sampel air sungai dilakukan menggunakan kaedah protokol makmal NOAA yang diubah suai sedikit (Adomat & Grischek 2021; Masura et al. 2015). Prosedur awal melibatkan penurasan melalui membran penuras nilon 0.45 µm dengan menggunakan sistem penurasan dan pam vakum. Proses Oksida Peroksida Basah (WPO) dijalankan untuk



RAJAH 1. Peta kawasan kajian dan stesen pensampelan

JADUAL 1. Koordinasi dan penerangan stesen pensampelan

Stesen pensampelan	Koordinasi	Penerangan
S1	2° 11' 40.5564" U 102° 14' 54.6828" T	Kawasan bandar, kawasan komersial, kawasan pelancongan
S2	2° 12' 30.9168" U 102° 14' 50.5284" T	Kawasan komersial, jalan raya
S3	2° 13' 36.9228" U 102° 15' 39.8772" T	Pintu air, jalan raya, kawasan tumpuan memancing
S4	2° 14' 38.67078" U 102° 14' 56.3604" T	Kawasan komersial, jalan raya
S5	2° 15' 10.9932" U 102° 14' 10.9932" T	Kawasan terpencil, kawasan tumpuan memancing
S6	2° 17' 45.6792" U 102° 15' 38.1132" T	Kawasan luar bandar
S7	2° 18' 11.8404" U 102° 15' 46.224" T	Kawasan luar bandar, tapak pembinaan
S8	2° 20' 10.0687" U 102° 15' 23.5008" T	Kawasan luar bandar, kawasan pertanian
S9	2° 22' 24.366" U 102° 13' 17.9256" T	Kawasan rekreasi, kawasan perumahan, jalan raya

menghancurkan bahan organik yang boleh mengganggu pengenalpastian mikroplastik yang tepat. Proses ini melibatkan sampel air yang dirawat dengan larutan 20 mL ferum (II) sulfat (FeSO_4) 0.05 M dan 20 mL hidrogen peroksida 30% (H_2O_2), dipanaskan di dalam rendaman pasir pada suhu 60°C sehingga tiada bahan organik yang kelihatan. Seterusnya, pemisahan ketumpatan dilakukan untuk mengasingkan mikroplastik menggunakan larutan zink klorida (1.5 g/cm^3). Akhir sekali, sampel diletakkan ke dalam pinggan petri bagi proses seterusnya. Bagi mengurangkan kesilapan dalam pengambilan dan penganalisan sampel, analisis ujian kosong telah dijalankan untuk menganggarkan pencemaran semasa uji kaji.

PENGENALPASTIAN MIKROPLASTIK

Penentuan kelimpahan mikroplastik melibatkan pewarnaan sampel dengan larutan Nil Merah. Seterusnya sampel diperhatikan menggunakan kamera Canon 200D yang dilengkapi dengan lensa makro dan penapis lensa jingga. Proses ini dilakukan di bawah pencahayaan LED biru untuk memastikan mikroplastik bersinar dan seterusnya gambar diambil. Sebanyak 24 bingkai gambar diambil dan perisian *ImageJ* digunakan untuk menggabungkan bingkai gambar tersebut. Seterusnya kelimpahan mikroplastik juga dihitung menggunakan perisian tersebut. Kelimpahan mikroplastik dinyatakan dalam jumlah zarah per liter (zarah L^{-1}). Seterusnya, penentuan morfologi mikroplastik menggunakan mikroskop stereo (SVBONY SM402, Cina) yang dilaraskan pada pembesaran antara 30X dan 45X. Mikroplastik yang dijumpai dikategorikan berdasarkan julat saiz, bentuk dan warna. 27 zarah mikroplastik dipilih secara rawak untuk analisis komposisi polimer menggunakan spektroskop μ -Raman (DXR2xi *imaging microscope*, Thermo-Fisher, UK). Laser 532 nm dan *Raman Shift* ber julat $50\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$ digunakan dan seterusnya spektrum yang diperoleh dibandingkan dengan perpustakaan spektrum rujukan daripada pangkalan data terbuka (www.openspecy.org) (Cowger et al. 2021).

ANALISIS STATISTIK

Analisis statistik dijalankan dengan menggunakan *GraphPad Prism* versi 8.0.2. Kelimpahan mikroplastik dalam kajian ini dilaporkan dalam purata \pm sisihan piawai. Analisis statistik yang digunakan adalah ANOVA Satu Hala bagi membandingkan kelimpahan mikroplastik antara stesen pensampelan pada aras keyakinan 95%. Sebelum ujian ANOVA, ujian normaliti dan homogeniti dilakukan. Mengikut ujian ini, jika nilai $p > 0.05$, bermakna taburan data adalah normal dan homogen. Akhirnya, perhubungan antara kelimpahan mikroplastik dan parameter fizikokimia dianalisis menggunakan perisian XLSTAT bagi menjalankan Analisis Komponen Utama.

HASIL DAN PERBINCANGAN

HASIL PENGUKURAN PARAMETER FIZIKOKIMIA

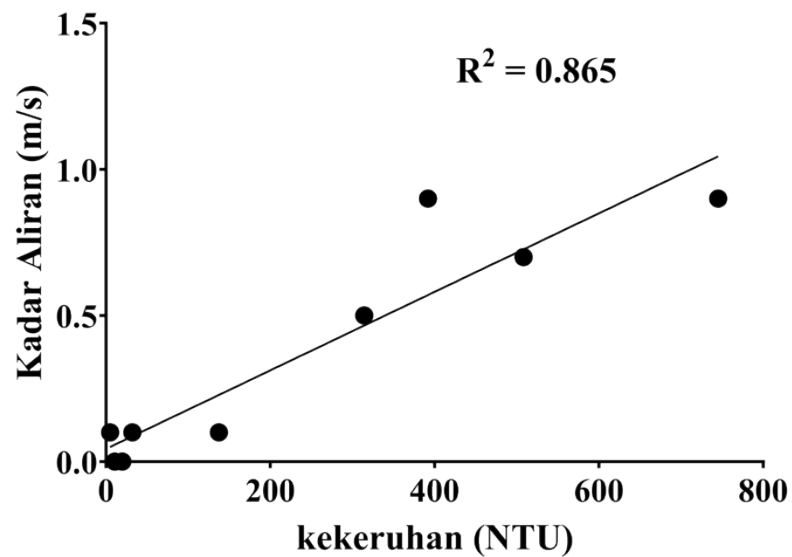
Pengambilan sampel air dijalankan di lokasi yang sama dengan pemerhatian taburan mikroplastik. Kualiti air Sungai Melaka dianalisis berdasarkan parameter fizikokimia. Parameter fizikal (suhu, kekeruhan, halaju aliran air, TDS dan TSS) dan parameter kimia (pH, DO, BOD, nitrat, ammonia dan fosfat) yang diukur dalam kajian ini ditunjukkan dalam Jadual 2. Secara amnya, perbezaan dalam parameter fizikokimia sampel air di setiap stesen pensampelan mikroplastik diperhatikan. Salah satu parameter fizikal yang dikaji adalah suhu air sungai, ber julat antara 25°C dan 29°C . Suhu air berubah disebabkan oleh perubahan suhu sekitar dan musim (Eamrat, Pussayanavin & Taweesan 2022). Dalam kawasan tropika, julat suhu optimum untuk biota akuatik biasanya berada antara 25°C dan 32°C (Buwono, Risjani & Soegianto 2021; Saifullah, Indaryanto & Syamiazzi 2015). Selain itu, parameter fizikal lain yang dikaji adalah kekeruhan. Kekeruhan air Sungai Melaka yang direkodkan adalah ber julat 4.9-745.0 NTU. Peningkatan kekeruhan disebabkan oleh peningkatan kelajuan aliran air, menyebabkan bahan terampai daripada sedimen (Anhwange, Agbaji & Gimba 2012; Shekooohyan & Akbarzadeh 2022). Berdasarkan pekali korelasi Spearman, terdapat korelasi yang kuat dan positif bagi kekeruhan dan halaju aliran air dalam kajian ini ($p = 0.0003$, $r^2 = 0.865$) (Rajah 2). Selain itu, kekeruhan juga boleh disebabkan oleh hakisan tanah, pembuangan sisa, aliran bandar dan pertumbuhan alga (Patel & Vashi 2015).

Nilai jumlah pepejal terampai (TSS) dan nilai jumlah pepejal terlarut (TDS) di Sungai Melaka didapati ber julat antara $6\text{-}708\text{ mg L}^{-1}$ dan $38\text{-}1880\text{ mg L}^{-1}$. Dalam kajian ini, kepekatan TSS yang lebih tinggi direkodkan dari stesen hulu ke stesen tengah mungkin disebabkan oleh pelupusan sisa daripada aktiviti bandar, pertanian dan perumahan. Berdasarkan Piawaian Kualiti Air Kebangsaan Malaysia, nilai TSS di stesen pensampelan S1, S2, S3 dan S4 masih berada di bawah had piawai. Nilai TSS biasanya disebabkan oleh pengenalan faktor luaran yang dibawa oleh air larian permukaan daripada hujan yang boleh meningkatkan kepekatan parameter ini (Suratman et al. 2015).

Nilai pH adalah petunjuk kepada pencemaran air. Nilai pH di stesen S1 sehingga S3 ber julat antara 6.5-7.3. Nilai pH ini berada dalam tahap piawaian kualiti untuk kehidupan akuatik pada 6.5-8.5 (Buwono, Risjani & Soegianto 2021; Yulistia, Fauziah & Hermansyah 2018). Nilai oksigen terlarut (DO) ber julat antara $1\text{-}10\text{ mg L}^{-1}$. Kepekatan DO yang rendah diperhatikan di stesen S1, S2 dan S5 disebabkan stesen ini terletak di kawasan bandar dengan aktiviti manusia yang tinggi, zon pelancongan dan kawasan komersial yang bergiat aktif. Kepekatan DO mempunyai hubungan dengan nilai permintaan oksigen

JADUAL 2. Kualiti Air Sungai Melaka, Malaysia

Parameter	Unit	Stesen persampelan								
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
pH		6.51	6.60	7.34	6.27	6.23	6.42	6.50	6.41	6.39
Suhu	°C	29.13	29.08	29.39	28.93	28.33	26.66	26.87	26.06	25.75
DO	mg L ⁻¹	2.38	2.77	10.51	1.01	4.38	6.02	5.93	6.54	7.04
Kekeruhan	NTU	4.94	10.74	19.88	32.02	137.34	314.36	391.92	508.34	745.05
Jumlah pepejal	mg L ⁻¹	1886.00	330.00	224.00	211.00	245.00	280.00	330.00	451.00	746.00
Jumlah pepejal terlarut	mg L ⁻¹	1880.00	318.00	208.00	190.00	167.00	59.00	54.00	41.00	38.00
Jumlah pepejal terampai	mg L ⁻¹	6.00	12.00	16.00	21.00	78.00	221.00	276.00	410.00	708.00
Ammonia	mg L ⁻¹	3.76	4.11	2.28	2.83	2.41	0.35	0.26	0.23	0.17
Nitrat	mg L ⁻¹	1.36	1.10	6.45	12.90	5.38	4.71	3.70	2.88	2.44
Fosfat	mg L ⁻¹	0.24	0.20	0.02	0.14	0.21	0.03	0.06	0.04	0.07
BOD		6.00	6.00	3.00	8.00	10.00	4.00	5.00	4.00	3.00



RAJAH 2. Korelasi antara parameter kekeruhan dengan kadar aliran air sungai di Sungai Melaka

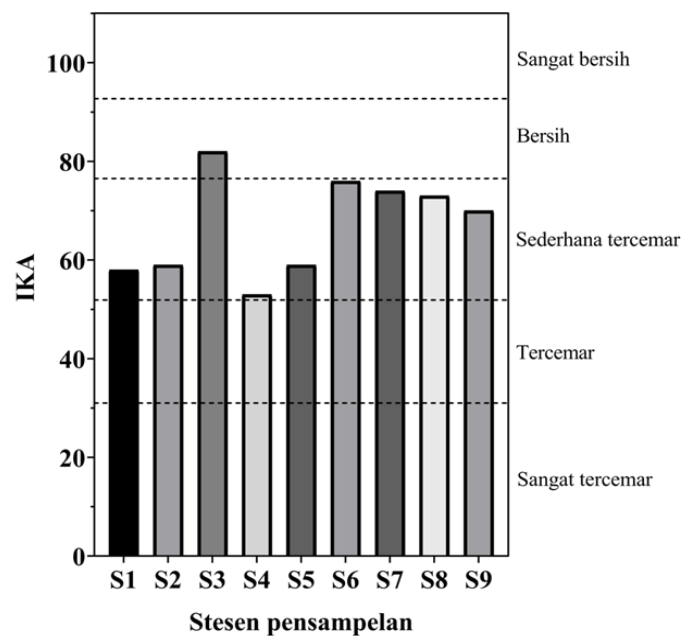
biokimia (BOD); semakin tinggi BOD, semakin rendah jumlah DO yang tersedia (Guaca & Poletti 2022). BOD adalah kepekatan oksigen terlarut yang digunakan dalam keadaan tertentu dalam satu jangka masa yang diberikan (Bajpai 2018). Nilai BOD diperhatikan tinggi di stesen S4 (10 mg L⁻¹), menunjukkan bahawa jumlah besar bahan organik yang tercemar di kawasan ini dan ini dapat dikaitkan dengan kepekatan DO yang rendah (1.0 mg L⁻¹). Keperluan bagi nitrat ditetapkan pada < 7 mg L⁻¹ dalam NWQS dan fosfat ditetapkan pada < 0.2 mg L⁻¹. Kepekatan nitrat di Sungai Melaka berjalut antara 1.1-12.9 mg L⁻¹, manakala kepekatan fosfat berjalut antara 0.02-0.24 mg L⁻¹. Kepekatan tertinggi direkodkan di stesen S4 bagi nitrat dan S1 bagi fosfat. Kedua-dua stesen ini kurang sesuai untuk kehidupan akuatik kerana kepekatan bahan tersebut melebihi had keperluan yang ditetapkan oleh NWQS. Tambahan, nilai ammonia-nitrogen diperhatikan antara 0.14-3.38 mg L⁻¹. Kepekatan ammonia-nitrogen tertinggi adalah di stesen S2. Ammonia-nitrogen yang tinggi dalam air adalah daripada pelepasan antropogen seperti pelepasan effluen bandar dan pertanian (Lin et al. 2019).

Keputusan Indeks Kualiti Air (IKA) Sungai Melaka ditunjukkan dalam Rajah 3. Kualiti air di setiap stesen adalah sederhana tercemar (IKA antara 51.9-76.5). Stesen S3 mempunyai kualiti air yang bersih (IKA = 82) disebabkan kawasannya yang jauh daripada kawasan bandar, terhindar daripada aktiviti manusia. Stesen yang berdekatan dengan bandar dan kawasan aktiviti manusia yang tinggi, iaitu S1, S2, S4 dan S5 mempunyai IKA yang rendah. Oleh itu, sungai ini hanya sesuai untuk kehidupan akuatik dan rekreasi tetapi tidak boleh digunakan untuk bekalan air kerana ia tercemar.

ANALISIS MIKROPLASTIK DALAM SAMPEL AIR SUNGAI

Dalam kajian ini, kelimpahan dan taburan mikroplastik dinilai bagi 9 stesen pensampelan di Sungai Melaka, yang meliputi pelbagai jenis guna tanah kawasan dan ekosistem. Mikroplastik telah ditemui di semua stesen pensampelan sepanjang Sungai Melaka dengan purata taburan 569 zarah L⁻¹. Jumlah ini lebih tinggi daripada yang dijumpai di muara Sungai Klang (2.47 zarah L⁻¹) dan muara Sungai Miri (10.7-14.3 zarah L⁻¹) (Liong et al. 2021; Zaki et al. 2021). Kelimpahan mikroplastik (Rajah 4) didapati berbeza di setiap stesen pensampelan.

Stesen S9 menunjukkan kelimpahan tertinggi (855.5 ± 240 zarah L⁻¹), sementara stesen S5 mempunyai kelimpahan terendah (404 ± 177 zarah L⁻¹). Aktiviti antropogen dan pembuangan sisa domestik merupakan punca utama yang mempengaruhi kelimpahan dan taburan mikroplastik di Sungai Melaka. Stesen S9 yang terletak berdekatan jalan raya dan kawasan antropogen menunjukkan bahawa pengumpulan mikroplastik dipengaruhi oleh aktiviti jalan raya, kawasan kediaman dan kawasan rekreasi. Stesen pensampelan dengan kelimpahan mikroplastik yang rendah iaitu S5 (404 ± 177 zarah L⁻¹), S8 (432 ± 52.3 zarah L⁻¹) dan S6 (456.5 ± 127 zarah L⁻¹) terletak di kawasan terpencil dan kawasan luar bandar, jauh daripada aktiviti antropogen. Ujian Anova Satu Hala menunjukkan tidak terdapat hubungan yang signifikan bagi kelimpahan mikroplastik antara kawasan pensampelan ($p = 0.2015$). Ujian perbandingan berganda Tukey juga gagal untuk mencari perbezaan statistik yang signifikan dalam kepekatan mikroplastik antara stesen yang berbeza.



RAJAH 3. Indeks Kualiti Air (IKA) Sungai Melaka bagi setiap stesen pensampelan

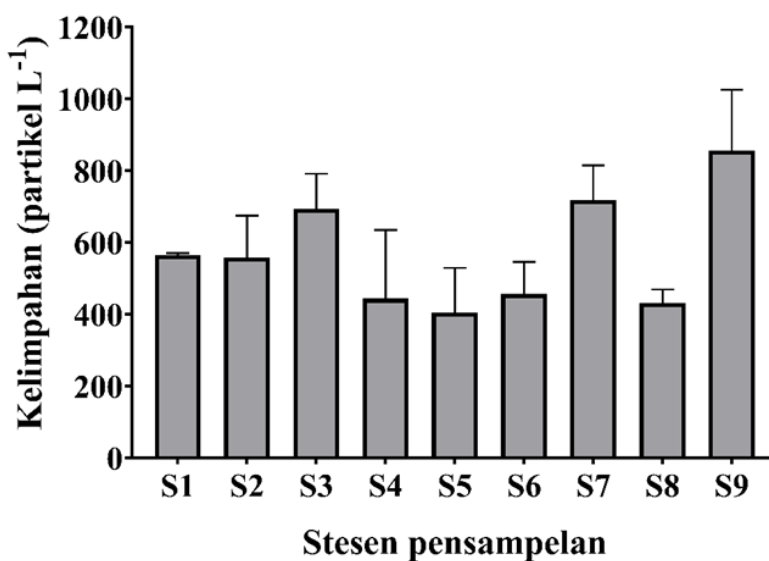
Mikroplastik dalam air permukaan dikelaskan sebagai gentian dan serpihan. Jumlah peratus mikroplastik gentian adalah yang paling tinggi (93%), berbanding serpihan (7%) (Rajah 5). Oleh itu, data ini sejajar dengan kajian terdahulu, yang menyatakan bahawa mikroplastik gentian merupakan peratusan terbesar daripada mikroplastik yang dikumpulkan dalam air. Sebagai contoh, Ibrahim, Khalik dan Hwi (2020) melaporkan lebih daripada 90% mikroplastik yang dijumpai adalah berbentuk gentian di dalam air Sungai Dungun. Selain itu, laporan tinjauan oleh Li, Liu dan Paul Chen (2018) juga melaporkan bahawa sebanyak 59% gentian daripada jumlah mikroplastik yang terkumpul dalam sampel air tawar dari seluruh dunia. Bentuk gentian yang dikenal pasti di Sungai Melaka kemungkinan berasal daripada aktiviti memancing. Memancing adalah aktiviti yang giat berlaku di stesen pensampelan ini. Sumber bagi bentuk gentian ini termasuklah alat memancing seperti joran memancing dan jaring ikan yang dibuang di sungai (Di & Wang 2018). Selain itu, ia juga berasal dari kawasan kediaman dan komersial di sekitar Sungai Melaka yang masuk ke dalam badan air. Ujian T-test berpasangan menunjukkan terdapat perbezaan signifikan antara bentuk gentian dan bentuk serpihan ($P = <0.001$) (Rajah 5).

Warna mikroplastik dikategorikan kepada hitam, biru, lutsinar dan lain-lain (Rajah 6(a)). Jumlah mikroplastik berwarna hitam adalah yang paling tinggi (36%) diikuti oleh biru (33%) lutsinar (25%) dan lain-lain (6%). Mikroplastik lutsinar berpunca daripada mikroplastik berwarna yang mengalami perubahan fizikal, termasuk degradasi permukaan dan pelunturan warna (Fahrenfeld et al. 2019). Perubahan ini juga boleh berlaku apabila mikroplastik terdedah kepada pelbagai faktor persekitaran

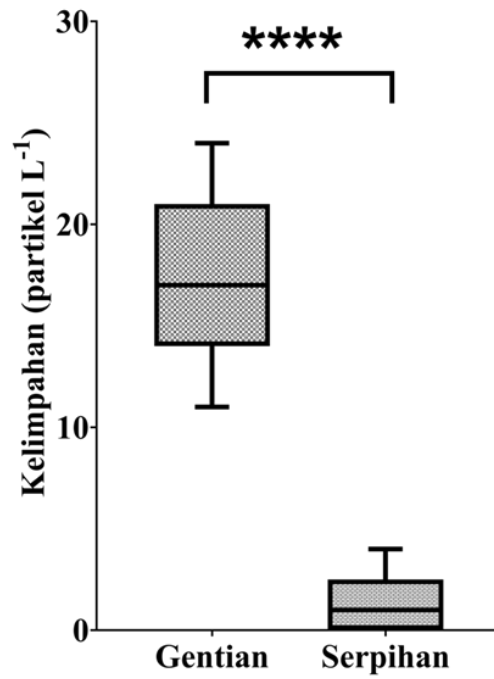
seperti sinaran matahari. Penggunaan larutan *Fenton* dalam kajian ini juga mungkin memberi impak kepada pelunturan warna mikroplastik. Pencernaan bahan organik dengan larutan hidrogen peroksida juga dapat menguraikan bahan tambahan pewarna dalam bahan plastik, yang berpotensi menyebabkan perubahan warna mikroplastik (Crawford & Quinn 2017; Shekoohiyan & Akbarzadeh 2022).

Mikroplastik yang dikenal pasti dikelaskan kepada beberapa julat saiz iaitu <1 mm, 1-2 mm, 2-3 mm dan 4-5 mm. Peratusan mikroplastik dalam air mengikut saiz adalah < 1 mm (56.9 %), 1-2 mm (25.1%), 2-3 mm (10.8%), 3-4 mm (1.8%) dan 4-5 mm (5.4%) (Rajah 6(b)). Secara amnya, dalam sampel air zarah bersaiz kurang daripada 1 mm adalah dominan. Hasil daripada kajian ini adalah sama dengan hasil kajian sebelumnya yang merekodkan kelimpahan mikroplastik dengan saiz < 1 mm adalah yang tertinggi. Sebagai contoh, mikroplastik dengan < 1 mm ditemui melebihi 90% di dalam sampel air yang dikumpulkan dari Sungai Miri, Malaysia dan Sungai Han, Korea Selatan (Liong et al. 2021; Park et al. 2019). Peratusan yang tinggi bagi saiz mikroplastik yang kecil adalah disebabkan mikroplastik mengalami degradasi berterusan dan sering terdedah kepada pelbagai keadaan di dalam persekitaran sungai, keadaan ini termasuk degradasi fotopenguraian (He et al. 2023).

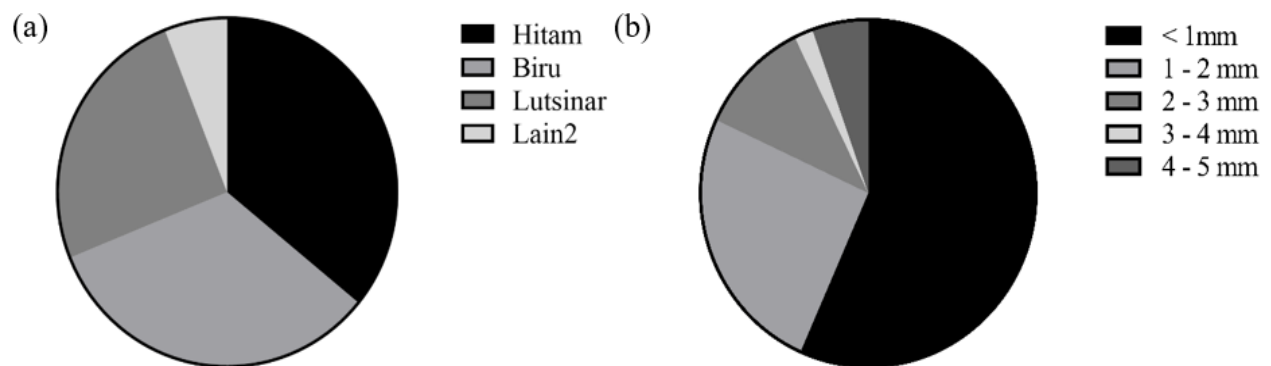
Sebanyak 27 mikroplastik bersaiz antara 1 – 5 mm dipilih secara rawak telah dianalisis komposisi polimer menggunakan spektroskopi μ -Raman. Bilangan ini merangkumi lebih daripada 40% jumlah keseluruhan mikroplastik yang dijumpai. Poliamida (PA) merupakan polimer dengan jumlah tertinggi sebanyak 33% daripada jumlah keseluruhan mikroplastik. Ini diikuti oleh 30%



RAJAH 4. Kelimpahan mikroplastik bagi setiap stesen pensampelan



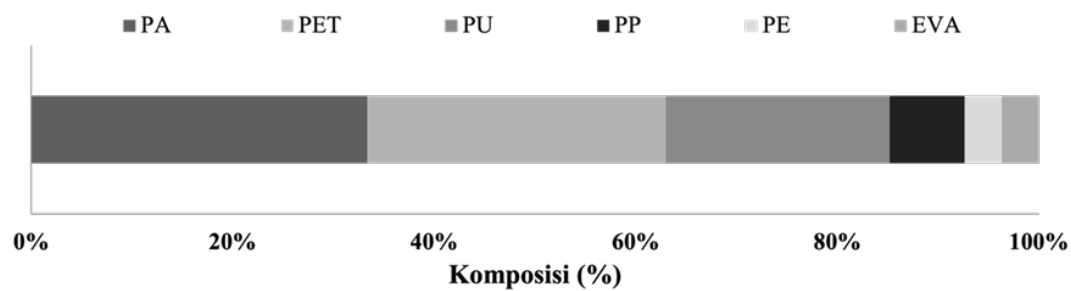
RAJAH 5. Kelimpahan bentuk mikroplastik dalam sampel air sungai di Sungai Melaka



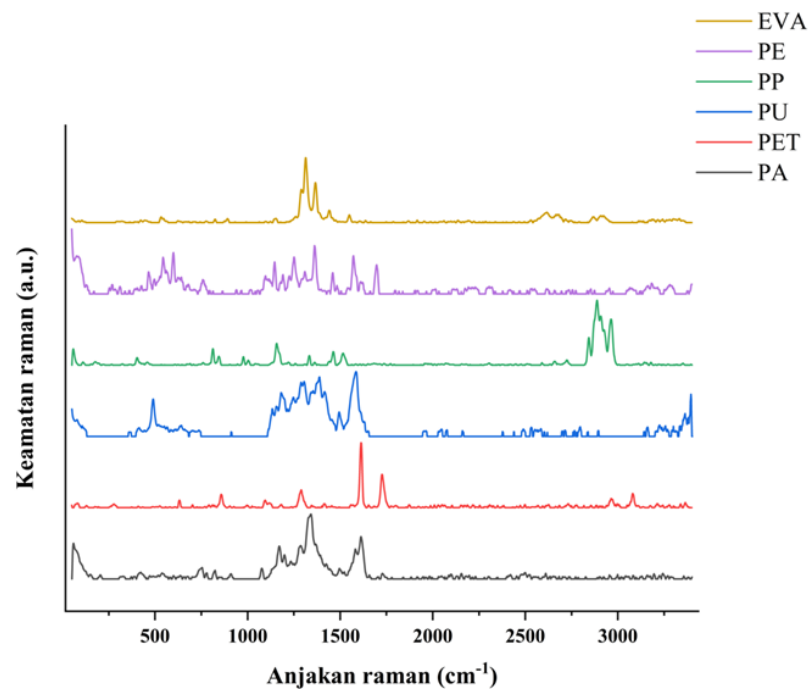
RAJAH 6. Peratusan kelimpahan mikroplastik mengikut (a) warna dan (b) saiz

polietilena tereftalat (PET), 22% poliuretana (PU) dan 7% polipropilena (PP). Selebihnya adalah 4% bagi polietilena (PE) dan etilena vinil asetat (EVA) (Rajah 7). Rajah 8 menunjukkan spektra Raman bagi polimer yang diperoleh dalam kajian ini. Polimer-polimer yang dikesan dalam kajian ini adalah jenis sintetik yang biasa dijumpai dalam sistem akuatik (Nava, Frezzotti & Leoni 2021). Antaranya, PA yang juga dikenali sebagai nilon, digunakan secara meluas dalam industri automotif dan produk kuarantin disebabkan oleh prestasi elektrik yang bagus dan rintangan pelelasnya, yang boleh menyebabkan sumbernya yang

signifikan dalam persekitaran akuatik (Peng et al. 2020). Selain itu, PP dan PE merupakan polimer yang paling banyak digunakan dalam penggunaan plastik, pembungkusan makanan, dan pelabelan di seluruh dunia (Ta & Babel 2020). Maka, polimer ini berkait rapat dengan pengeluaran plastik komersial dan majoriti mikroplastik di kawasan kajian ini berasal dari daratan. Polimer ini juga berpotensi memberi risiko kepada organisma akuatik kerana saiz yang kecil; organisma menganggapnya sebagai makanan dan memakannya.



RAJAH 7. Komposisi polimer mikroplastik terpilih



RAJAH 8. Spektra Raman bagi polimer mikroplastik yang diperoleh

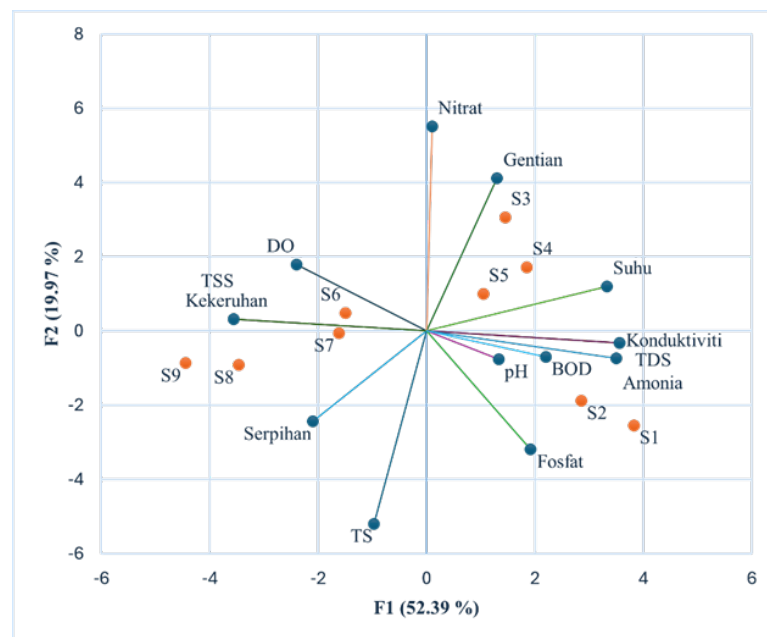
HUBUNGAN MIKROPLASTIK DENGAN PARAMETER FIZIKOKIMIA

Pencemaran mikroplastik didapati berbeza bagi setiap stesen pensampelan di Sungai Melaka. Penyebaran mikroplastik sekadar dipengaruhi oleh faktor antropogen, malahan lebih dipengaruhi oleh faktor alam sekitar (Shahul Hamid et al. 2018). Faktor alam sekitar seperti hidrodinamik air sungai dapat memberi kesan terhadap taburan mikroplastik dan implikasinya terhadap ekosistem (Besseling et al. 2016). Dalam kajian ini, kesan pelbagai parameter fizikokimia dinilai dengan mempertimbangkan kehadiran bentuk mikroplastik yang berbeza di dalam sampel air. Rajah 9 menunjukkan perhubungan antara kelimpahan bentuk mikroplastik dan parameter fizikokimia. Analisis komponen utama (PCA) dalam kajian ini menggunakan sebelas parameter fizikokimia (suhu, kekeruhan, halaju aliran air, TDS, TSS, pH, DO, BOD, nitrat, ammonia dan fosfat) dan dua jenis bentuk mikroplastik (gentian dan serpihan) sebagai pemboleh ubah.

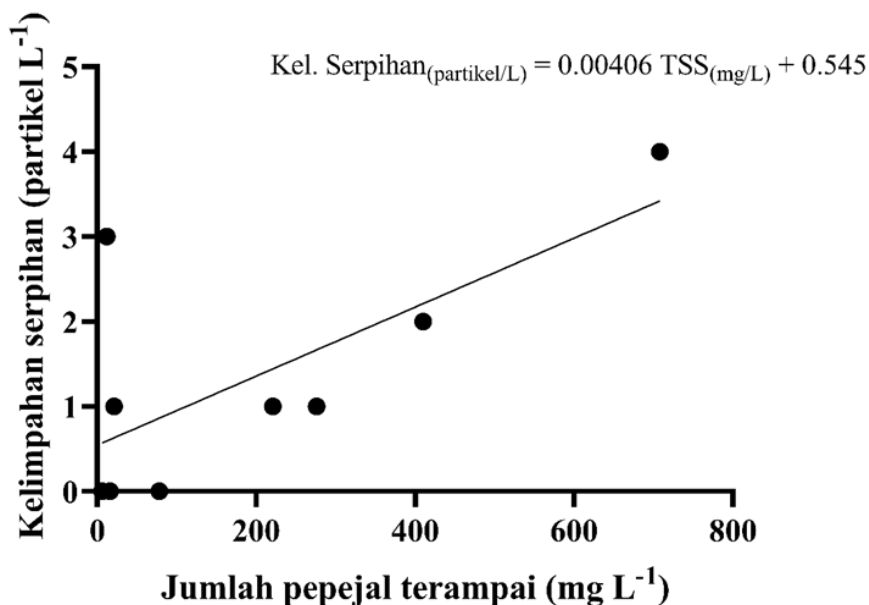
Hasil daripada analisis ini menunjukkan bahawa pH, suhu, DO, ammonia, nitrat, fosfat dan BOD mempunyai pekali korelasi yang positif dengan gentian. Manakala, DO, kekeruhan dan TSS pula mempunyai pekali korelasi yang positif dengan serpihan. Hasil ini menunjukkan bahawa pencemaran mikroplastik berkait rapat dengan

kualiti air. Aktiviti manusia dan urbanisasi dikenal pasti sebagai penyumbang kepada kualiti air yang buruk, terutamanya berkaitan dengan air yang tercemar disebabkan oleh mikroplastik (Eamrat, Pussayanavin & Taweesan 2022). Menurut Kataoka et al. (2019), mikroplastik dalam air permukaan berasal dari daratan atau sumber pencemaran yang memasuki persekitaran air melalui laluan yang sama seperti bahan pencemar lain. Penyelidikan ini juga mengkaji korelasi antara kelimpahan bentuk mikroplastik dan kualiti air. Rajah 10 menunjukkan korelasi positif yang signifikan antara kelimpahan bentuk serpihan dengan TSS ($R^2 = 0.47$). Sungai dengan tahap TSS yang tinggi menunjukkan bahawa kemungkinan wujudnya bahan pencemar, bahan kimia dan mikroplastik kerana kebanyakan bahan pencemar, termasuk mikroplastik, cenderung melekat pada TSS (Buwono, Risjani & Soegianto 2021).

Selain itu, tahap TSS yang tinggi menunjukkan kemungkinan pencemaran yang tinggi disebabkan mikroplastik kerana mikroplastik boleh menarik zarah pepejal. Sehubungan dengan itu, korelasi TSS dengan kelimpahan bentuk serpihan dinyatakan dalam persamaan pada Rajah 10. Hasil kajian ini menunjukkan bahawa pencemaran mikroplastik berkait rapat dengan kualiti air, khususnya TSS. Walau bagaimanapun, pengaruh keadaan hidrodinamik dan morfologi sungai perlu dilihat lebih lanjut untuk mengkaji taburan mikroplastik di dalam sungai.



RAJAH 9. Perhubungan antara kelimpahan bentuk mikroplastik dan kualiti air menggunakan analisis komponen utama (PCA)



RAJAH 10. Korelasi antara kelimpahan serpihan dan jumlah pepejal terampai (TSS)

KESIMPULAN

Kajian ini menunjukkan pencemaran mikroplastik dalam air sungai di Sungai Melaka. Kelimpahan mikroplastik berjangka antara 404-855.5 zarah L⁻¹ pada bulan Jun 2024. Kelimpahan mikroplastik tertinggi dikesan di stesen pensampelan berhampiran taman rekreasi dan kawasan kediaman, menunjukkan bahawa aktiviti antropogen mungkin menjadi penyebab utama pencemaran mikroplastik di Sungai Melaka. Kebanyakan mikroplastik adalah kurang daripada 1 mm dalam saiz. Bentuk utama mikroplastik yang diperhatikan adalah serpihan dan gentian. Kebanyakan mikroplastik yang ditemui adalah hitam. Selain itu, poliamida dan polietilena tereftalat merupakan jenis polimer yang kerap dijumpai dalam kalangan mikroplastik ini. Kelimpahan mikroplastik di dalam badan air berkait dengan parameter fizikokimia. TSS telah ditentukan sebagai parameter yang mempunyai pengaruh terhadap mikroplastik gentian di Sungai Melaka. Secara keseluruhan, hasil ini memberi maklumat terkini mengenai pencemaran mikroplastik di Sungai Melaka dan menyediakan data penting untuk penyelidikan lanjut mengenai mikroplastik dalam ekosistem air tawar.

PENGHARGAAN

Setinggi-tinggi penghargaan ditujukan kepada Universiti Kebangsaan Malaysia untuk Geran Penyelidikan Universiti (GUP-2021-056) dan geran TAP (TAP-K016136). Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Jabatan Alam Sekitar atas perkongsian data kualiti air.

RUJUKAN

- Adomat, Y. & Grischek, T. 2021. Sampling and processing methods of microplastics in river sediments - A review. *Science of The Total Environment* 758: 143691.
- Ang, K.H. & Mohd Kusin, F. 2015. A review of applied GIS based in sustainable water resources management in Malacca River case study: An observation perspective. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology* 1(3): 157-162.
- Anhwange, B., Agbaji, E. & Gimba, E.C. 2012. Impact assessment of human activities and seasonal variation on River Benue, within Makurdi Metropolis. *International Journal of Science and Technology* 2: 248-254.
- Bajpai, P. 2018. Chapter 15 - Environmental impact. Dlm. *Biermann's Handbook of Pulp and Paper, (Third Edition)*, disunting oleh Bajpai, P. Elsevier. hlm. 325-348.

- Besseling, E., Quik, J., Sun, M. & Koelmans, A. 2016. Fate of nano- and microplastic in freshwater systems: A modeling study. *Environmental Pollution* 220(Part A): 540-548.
- Buwono, N., Risjani, Y. & Soegianto, A. 2021. Distribution of microplastic in relation to water quality parameters in the Brantas River, East Java, Indonesia. *Environmental Technology & Innovation* 24: 101915.
- Chantima, K., Suk-Ueng, K., Intep, P. & Vittayapadung, S. 2023. First evidence of microplastics ingestion by freshwater fishes from Nong Luang Wetland, Chiang Rai, Thailand. *Sains Malaysiana* 52(9): 2471-2483.
- Cowger, W., Steinmetz, Z., Gray, A., Munno, K., Lynch, J., Hapich, H., Primpke, S., De Frond, H., Rochman, C. & Herodotou, O. 2021. Microplastic spectral classification needs an open source community: Open specy to the rescue! *Anal. Chem.* 93(21): 7543-7548.
- Crawford, C.B. & Quinn, B. 2017. 9 - Microplastic separation techniques. *Microplastic Pollutants*. Elsevier. hlm. 203-218.
- Di, M. & Wang, J. 2018. Microplastics in surface waters and sediments of the Three Gorges Reservoir, China. *Science of The Total Environment* 616-617: 1620-1627.
- Duis, K. & Coors, A. 2016. Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: Sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. *Environmental Sciences Europe* 28: 2.
- Eamrat, R., Pussayanavin, T. & Taweesan, A. 2022. Assessment of microplastics distribution and related water quality in an Urban Canal, Thailand. *Pollution* 8(4): 1172-1184.
- Emmel, F.J. & Curray, J.R. 1982. A submerged late Pleistocene delta and other features related to sea level changes in the Malacca Strait. *Marine Geology* 47(3): 197-216.
- Fahrenfeld, N.L., Arbuckle-Keil, G., Naderi Beni, N. & Bartelt-Hunt, S.L. 2019. Source tracking microplastics in the freshwater environment. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 112: 248-254.
- Guaca, D.C. & Poletti, E.C.C. 2022. Modeling and numerical simulation of dissolved oxygen and biochemical oxygen demand concentrations with Holling type III kinetic relationships. *Applied Mathematics and Computation* 415: 126690.
- He, Y., Rehman, A.U., Xu, M., Not, C.A., Ng, A.M.C. & Djurišić, A.B. 2023. Photocatalytic degradation of different types of microplastics by TiO₂/ZnO tetrapod photocatalysts. *Heliyon* 9(11): e22562.
- Hua, A.K. 2019. An identification source of variation on the water quality pattern in the Malacca River basin using chemometric approach. *Archives of Environmental Protection* 4(4): 111-122.
- Ibrahim, Y., Khalik, W. & Hwi, T. 2020. Microplastic abundance, distribution, and composition in Sungai Dungun, Terengganu, Malaysia. *Sains Malaysiana* 49(7): 1479-1490.
- Ivleva, N.P., Wiesheu, A.C. & Niessner, R. 2017. Microplastic in aquatic ecosystems. *Angew Chem. Int. Ed. Engl.* 56(7): 1720-1739.
- Jabatan Alam Sekitar. 2021. Laporan Kualiti Alam Sekeliling 2020.
- Kataoka, T., Nihei, Y., Kudou, K. & Hinata, H. 2019. Assessment of the sources and inflow processes of microplastics in the river environments of Japan. *Environmental Pollution* 244: 958-965.
- Kumar, R., Verma, A., Shome, A., Sinha, R., Sinha, S., Jha, P.K., Kumar, R., Kumar, P., Shubham, Das, S., Sharma, P. & Vara Prasad, P.V. 2021. Impacts of plastic pollution on ecosystem services, sustainable development goals, and need to focus on circular economy and policy interventions. *Sustainability* 13(17): 9963.
- Li, J., Liu, H. & Paul Chen, J. 2018. Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Research* 137: 362-374.
- Lin, K., Zhu, Y., Zhang, Y. & Lin, H. 2019. Determination of ammonia nitrogen in natural waters: Recent advances and applications. *Trends in Environmental Analytical Chemistry* 24: e00073.
- Liong, R.M.Y., Hadibarata, T., Yuniarto, A., Tang, K.H.D. & Khamidun, M.H. 2021. Microplastic occurrence in the water and sediment of Miri River Estuary, Borneo Island. *Water, Air, & Soil Pollution* 232(8): 342.
- Masura, J., Baker, J.E., Foster, G., Arthur, C., Herring, C.E. & Marine Debris Program (U.S). 2015. Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. *NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48*.
- Meijer, L., Van Emmerik, T., Ent, R., Schmidt, C. & Lebreton, L. 2021. More than 1000 rivers account for 80% of global riverine plastic emissions into the ocean. *Science Advances* 7: eaaz5803.
- Mustafar, F.W., A'zmi, A.A., Mohd Noh, N., Suhaini, N. & Abdul Karim, A.K. 2020. Potensi pelancongan di Tampin, Negeri Sembilan. *Jurnal Tuah* 1: 67-82.
- Nava, V., Frezzotti, M.L. & Leoni, B. 2021. Raman spectroscopy for the analysis of microplastics in aquatic systems. *Appl. Spectrosc.* 75(11): 1341-1357.
- Omar, N. & Mat Radzuan, I.S. 2021. Kesan-kesan pewartaan Melaka Bandaraya Bersejarah sebagai Tapak Warisan Dunia oleh UNESCO. *Research in Management of Technology and Business* 2(1): 1443-1458.

- Pan, D., Su, F., Liu, C. & Guo, Z. 2020. Research progress for plastic waste management and manufacture of value-added products. *Advanced Composites and Hybrid Materials* 3:1-19.
- Park, T-J., Lee, S-H., Lee, M-S., Lee, J-K., Lee, S-H. & Zoh, K-D. 2019. Occurrence of microplastics in the Han River and riverine fish in South Korea. *Science of The Total Environment* 708: 134535.
- Patel, H. & Vashi, R.T. 2015. Use of naturally prepared coagulants for the treatment of wastewater from dyeing mills. *Characterization and Treatment of Textile Wastewater*. Boston: Elsevier. hlm. 147-158.
- Peng, C., Tang, X., Gong, X., Dai, Y., Sun, H. & Wang, L. 2020. Development and application of a mass spectrometry method for quantifying nylon microplastics in environment. *Analytical Chemistry* 92(20): 13930-13935.
- Rahim, N., Islahudin, F., Abu Tahrim, N. & Jasamai, M. 2022. Microplastics in cosmetics and personal care products: Impacts on aquatic life and rodents with potential alternatives. *Sains Malaysiana* 51(8): 2495-2506.
- Saifullah, S., Indaryanto, F. & Syamiazi, F. 2015. Kualitas air di Waduk Nadra Kerenceng Kota Cilegon Provinsi Banten. *Jurnal Akuatika* VI(2): 161-169.
- Schwarz, A.E., Ligthart, T.N., Boukris, E. & Van Harmelen, T. 2019. Sources, transport, and accumulation of different types of plastic litter in aquatic environments: A review study. *Marine Pollution Bulletin* 143: 92-100.
- Shahul Hamid, F., Bhatti, M.S., Anuar, N., Anuar, N., Mohan, P. & Periathamby, A. 2018. Worldwide distribution and abundance of microplastic: How dire is the situation? *Waste Manag. Res.* 36(10): 873-897.
- Sharma, S., Basu, S., Shetti, N.P., Nadagouda, M.N. & Aminabhavi, T.M. 2021. Microplastics in the environment: Occurrence, perils, and eradication. *Chem. Eng. J.* 408: 127317.
- Shekoohiyani, S. & Akbarzadeh, A. 2022. The abundance of microplastic pollution along the Jajroud River of Tehran: Estimating the water quality index and the ecological risk. *Ecological Indicators* 145: 109629.
- Suratman, S., Sailan, M., Hee, Y., Bedurus, E. & Latif, M. 2015. A preliminary study of water quality index in Terengganu River basin, Malaysia. *Sains Malaysiana* 44(1): 67-73.
- Ta, A.T. & Babel, S. 2020. Microplastics pollution with heavy metals in the aquaculture zone of the Chao Phraya River Estuary, Thailand. *Mar. Pollut. Bull.* 161(Pt A): 111747.
- van Raamsdonk, L.W.D., van der Zande, M., Koelmans, A.A., Hoogenboom, R., Peters, R.J.B., Groot, M.J., Peijnenburg, A. & Weesepeel, Y.J.A. 2020. Current insights into monitoring, bioaccumulation, and potential health effects of microplastics present in the food chain. *Foods* 9(1): 72.
- Yulistia, E., Fauziyah, F. & Hermansyah, H. 2018. Assessment of Ogan River water quality Kabupaten OKU South Sumatera by NSFQI method. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry* 3(2): 54-58.
- Zaki, M.R.M., Ying, P.X., Zainuddin, A.H., Razak, M.R. & Aris, A.Z. 2021. Occurrence, abundance, and distribution of microplastics pollution: An evidence in surface tropical water of Klang River estuary, Malaysia. *Environ. Geochem. Health* 43(9): 3733-3748.
- Zeytin, S., Wagner, G., Mackay-Roberts, N., Gerdtts, G., Schuirmann, E., Klockmann, S. & Slater, M. 2020. Quantifying microplastic translocation from feed to the fillet in European sea bass *Dicentrarchus labrax*. *Marine Pollution Bulletin* 156: 111210.

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: mardiana@ukm.edu.my